

На правах рукописи

ВАЛИОТТИ НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ МАССОВЫХ УСЛУГ**

Специальность 08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата экономических наук

Санкт-Петербург – 2014

Диссертационная работа выполнена в
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет».

Научный руководитель: доктор экономических наук, профессор
Халин Владимир Георгиевич
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный университет»,
заведующий кафедрой
информационных систем в экономике

Официальные оппоненты: доктор экономических наук, профессор
Емельянов Александр Анатольевич
Филиал ФГБОУ ВПО «Национальный исследова-
тельский университет «МЭИ» в г. Смоленске,
профессор кафедры менеджмента
и информационных технологий в экономике

доктор экономических наук, профессор,
Стельмашенок Елена Викторовна,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный экономический университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный политехнический университет»

Защита состоится _____ 2015 г. в __ часов на заседании Совета
Д 212.232.34 по защите докторских и кандидатских диссертаций при Санкт-Пе-
тербургском государственном университете по адресу:
191123, Санкт-Петербург, ул. Чайковского д. 62, ауд. ____

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте
Санкт-Петербургского государственного университета:
<http://spbu.ru/science/disser/soiskatelyu-uchjonoj-stepeni/dis-list/>.

Автореферат разослан _____ 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат экономических наук, доцент

Л.В. Попова

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. В современном бизнесе для динамично развивающейся компании быстрая реакция и адаптивность к внешним изменениям – конкурентное преимущество в борьбе за долю рынка. В деятельности государственных учреждений и коммерческих организаций для принятия управленческих решений широко применяются методы и алгоритмы обработки больших массивов данных, демонстрирующие высокую результативность, в частности, в стратегическом управлении. Как следствие, основанные на их использовании системы поддержки принятия решений (СППР) стали неотъемлемой частью эффективно построенного бизнеса. Для лиц принимающих решения (ЛПР) они превратились в привычный инструмент помощи и в повседневной управленческой практике, и в поиске приемлемых альтернатив управления в сложных слабоструктурированных многокритериальных задачах, позволяя эффективно учитывать разнообразные условия постоянно изменяющейся внешней среды, конъюнктуры рынка и конкурентного окружения за счет обработки большого числа возможных исходов и сценариев развития ситуации.

Работа СППР, как правило, построена на методах математического моделирования и алгоритмах поиска решений, реализуемых с использованием подходящих инструментальных средств. Широко используются, в частности, эконометрические методы анализа временных рядов данных, которые применимы как на уровне государственных учреждений, так и в отдельно взятой коммерческой организации.

Государственные учреждения и компании, планируя различные решения, рассчитывают вероятную оценку желаемого эффекта. По факту принятия решения эти предположения должны быть проверены. Традиционно для этой цели используются классические эконометрические методы анализа временных рядов. Однако классические методы количественной оценки эффекта принятых решений или влияния различных внешних событий опираются на заведомо нереалистичные предположения о линейной природе данных, а построение этих моделей требует наличия у экспертов соответствующей квалификации.

Целесообразным для количественного оценивания последствий принимаемых решений и влияния внешних событий представляется использование искусственных нейронных сетей (ИНС). Модели на основе ИНС потенциально имеют преимущества перед традиционными: они позволяют учитывать нелинейную природу как данных, так и внешних событий, строятся автоматически с минимальным участием эксперта и, как следствие, могут оказаться более точным и экономичным инструментом оценки.

В настоящее время использование подобных систем анализа, моделирования и обработки данных на обычных персональных компьютерах затруднено в связи с повышенными требованиями, предъявляемыми к аппаратным средствам. Однако бурный рост производительности вычислительных систем и удешевление комплектующих открывает большие перспективы использования ИНС на стандартных стационарных компьютерах и на ноутбуках.

Актуальность темы диссертационного исследования определяется необходимостью в государственных учреждениях и коммерческих фирмах количественно на новом качественном уровне оценивать последствия принимаемых управленческих решений и влияния внешних событий. Научно обоснованные эффективные инструменты моделирования и обработки данных позволяют автоматизировать аналитическую деятельность, необходимы для оперативной и качественной интерпретации результатов управленческих решений, в частности, в набирающей популярность области сценарного планирования.

Степень разработанности направления исследования. Вопросам стратегического управления посвящено много работ зарубежных авторов, таких как И. Ансофф, А. Томпсон и А. Дж. Стрикленд, Ф. Котлер, М. Портер и др., а также российских ученых: Р. А. Фатхутдинов, С. А. Попов и др. Использование систем поддержки принятия решений в деятельности организаций раскрывается в работах авторов: А. И. Орлов, А. Л. Попов, Т. К. Кравченко, Д. Л. Андрианов, Д. Ж. Пауэр. Проблемы количественной оценки последствий принимаемых решений и влияния внешних событий нашли отражение в трудах авторов: Дж. Бокс и Г. Тиао, Дж. Нельсон, Д. Т. Кэмпбелл, Д. Макдауэлл. Методы исследования систем

экономической динамики представлены в работах А.А. Емельянова, Е.В. Стельмашонок и И.В. Ильина и других авторов. Исследованиям в области использования аппарата искусственных нейронных сетей посвящены работы С. Хайкина и П. Жанга. В диссертации используются методы анализа данных в статистических пакетах, развитые в работах В.Л. Аббакумова.

Анализ работ перечисленных и других исследователей позволяет констатировать, что большое число теоретических изысканий на тему ИНС не подкреплено разработанными эффективными технологиями прикладного применения данного математического аппарата в задачах экономической оценки последствий принимаемых решений и влияния внешних событий. Более того, возможности использования искусственных нейронных сетей в задачах сценарного планирования в трудах исследователей практически не представлены. Традиционно для решения подобной задачи используются линейные модели, что приводит к возможному риску ошибки спецификации. Именно это приводит к необходимости проведения исследований в данном направлении и разработки метода с использованием ИНС и подтверждает актуальность исследования в выбранном направлении.

Цель и задачи исследования. Цель исследования – разработка на основе ИНС комплекса моделей и методов для количественной оценки эффекта влияния внешних событий и принимаемых управленческих решений.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие основные задачи:

1. Разработать алгоритм оценивания влияния внешних событий и управленческих решений в условиях неполноты или отсутствия информации о количественной величине эффекта событий и формах таких событий.
2. Создать математическую модель оценки влияния внешних событий и управленческих решений, реализуемую с использованием аппарата искусственных нейронных сетей специальной архитектуры.

3. Разработать приложение в среде MATLAB для автоматизированного построения ИНС-модели, позволяющей получать количественные ретроспективные оценки влияния внешних событий, максимальную величину внешнего события и лага в проявлении внешнего события.
4. Разработать алгоритм сценарного моделирования событий «что-если», позволяющий на основе разработанного метода оценить совокупный эффект влияния внешнего события.
5. Исследовать возможности верификации предложенной модели и её калибровки на реальных данных отраслей и организаций российской экономики.

Объект и предмет исследования. *Объектом исследования* являются предприятия всех организационно-правовых форм, деятельность которых связана с предоставлением массовых услуг и подвергается влиянию внешних событий или на деятельность которых влияют управленческие решения, принимаемые менеджментом.

В качестве *предмета исследования* выступает процесс количественной оценки эффекта влияния внешних событий и принятия управленческих решений в повседневной деятельности государственных учреждений и коммерческих организаций.

Методологическая, теоретическая и эмпирическая база исследования. *Методологической базой* являются методы системного анализа в управлении, экономико-математические методы, методы эконометрики и математической статистики (анализа временных рядов и регрессионного анализа), методы сценарного анализа и прогнозирования, а также методы анализа данных.

Теоретической базой исследования являются монографии, пособия и публикации в периодической печати отечественных и зарубежных ученых по таким областям научного знания как экономико-математические методы, искусственные нейронные сети, сценарное планирование, экономика розничной торговли и массовых услуг, разработка систем поддержки принятия решений, информационные технологии, методы алгоритмизации.

Эмпирическую базу исследования составили статистические данные об отраслях экономики, взятые из открытых источников и внутренние данные коммерческих организаций: ООО «Скартел», ООО «Лента» и ЗАО «Юлмарт».

Инструментальная поддержка разработанных методов заключается в использовании таких программных средств, как интегрированная программная среда MATLAB, программная среда R и СУБД Oracle.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в том, что автором решена новая задача разработки комплекса алгоритмов для поддержки принятия решений, в котором отсутствует ограничение линейности модели за счёт использования аппарата искусственных нейронных сетей нестандартной архитектуры. Комплекс алгоритмов является принципиально новым, в работе развивается применение традиционного математического аппарата для анализа макро- и микроэкономических показателей.

Наиболее существенные новые научные результаты, полученные лично соискателем, выносимые на защиту:

1. Разработан алгоритм оценивания влияния внешних событий и управленческих решений в условиях неполноты или отсутствия информации о величинах и формах таких событий. Новизна алгоритма определяется предложенным способом построения и автоматизированной оценки параметров кусочно-линейной функции, описывающей влияние внешнего события, что отличает данный подход от классических разработок Эндерса, Бокса и Тиао.

2. Создана математическая модель оценки влияния внешних событий и управленческих решений, реализуемая с использованием аппарата искусственных нейронных сетей специальной архитектуры. Особенность модели заключается в модификации нейронной сети таким образом, чтобы из неё можно было извлечь информацию о влиянии произошедших событий для количественной оценки эффекта управленческих решений или влияния внешних событий. Данная разновидность архитектуры нейронной сети представляет собой гибрид двух независимо построенных нейронных сетей.

3. Разработано приложение в среде MATLAB для автоматизированного по-

строения ИНС-модели, позволяющее получать количественные ретроспективные оценки влияния внешних событий, максимальную величину внешнего события и лага в проявлении внешнего события. Разработанное приложение позволяет оценивать как задержку влияния внешнего события, так и измерять величину эффекта влияния внешнего события в каждый момент времени, в том числе и величину максимального эффекта.

4. Разработан алгоритм сценарного моделирования событий «что-если», позволяющий на основе разработанного метода оценить совокупный эффект влияния внешнего события. Отличительная особенность алгоритма заключается в возможности рассмотрения гипотетических сценариев. Например, случай отсутствия влияния внешнего события или случай, когда влияние внешнего события задается ЛПР. Алгоритм позволяет оценить совокупный эффект влияния внешнего события.

5. Исследованы возможности верификации предложенной модели и её калибровки на реальных данных отраслей и организаций российской экономики. Модель апробирована на данных розничных организаций, телекоммуникационной организации, на российском рынке пива, вторичном рынке автомобилей Санкт-Петербурга и Москвы, рынке недвижимости Санкт-Петербурге.

Обоснованность и достоверность результатов исследования.

Обоснованность результатов, выносимых на защиту, обеспечена применением научной методологии, использованием общенаучных моделей и методов анализа данных и эконометрики, а также базисных научных результатов, полученных другими исследователями.

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием официальных сведений по ряду отраслей экономики и реальных данных деятельности некоторых коммерческих организаций, а также теоретической обоснованностью методов их обработки.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке новых методов количественной оценки эффекта влияния внешних событий и управлен-

ческих решений, предназначенных для использования в системах поддержки принятия решений в блоке стратегического анализа системы управления фирмой/организацией. Разработанные методы позволяют эффективно решать научно-практическую задачу оценки эффекта влияния внешних событий не только для фирмы/организации, но и применительно к отрасли экономики.

Практическая значимость. Разработанные методы и реализующие их алгоритмы апробированы на реальных данных, характеризующих деятельность предприятий и отраслей экономики, и могут быть рекомендованы для применения в системах поддержки принятия управленческих решений. Они позволяют:

- получать ретроспективные количественные оценки влияния внешних событий и управленческих решений;
- производить сценарный анализ «что-если» для моделирования гипотетических сценариев отсутствия влияния внешних событий и оценки совокупного эффекта влияния внешних событий;

Разработанное инструментальное средство не требует специальной подготовки пользователя и может быть использовано без участия эксперта.

Соответствие диссертации Паспорту научной специальности.

Диссертация и научные результаты, выносимые на защиту, соответствуют Паспорту специальности 08.00.13 – «Математические и инструментальные методы экономики», пунктам:

1.4. «Разработка и исследование моделей и математических методов анализа микроэкономических процессов и систем: отраслей народного хозяйства, фирм и предприятий, домашних хозяйств, рынков, механизмов формирования спроса и потребления, способов количественной оценки предпринимательских рисков и обоснования инвестиционных решений» – соответствуют пункты 1, 5 научных результатов; 2.3. «Разработка систем поддержки принятия решений для рационализации организационных структур и оптимизации управления экономикой на всех уровнях» – соответствует пункт 4 научных результатов; 2.8. «Развитие методов и средств аккумуляции знаний о развитии экономической системы и использование искусственного интеллекта при выработке управленческих решений» – соответствуют пункты 2, 3 научных результатов;

Апробация работы и реализация результатов исследования.

Апробация. Основные положения и результаты, полученные в диссертационном исследовании, были представлены на ряде семинаров и конференций:

- Весенняя конференция молодых учёных-экономистов – Санкт-Петербург, 2011
- Международная научно-практическая конференция: «Современные проблемы прикладной информатики» - Санкт-Петербург, 2011
- XVII международная конференция молодых ученых-экономистов «Предпринимательство и реформы в России» - Санкт-Петербург, 2011
- Международная школа-семинар «Бизнес-информатика: состояние, проблемы и перспективы» - Санкт-Петербург, 2013
- Весенняя конференция молодых ученых-экономистов «Устойчивое развитие: общество и экономика» – Санкт-Петербург, 2014

Реализация результатов. Основные результаты диссертационной работы были приняты к внедрению в практическую деятельность ЗАО «Юлмарт» в процессе формирования систем поддержки принятия решений, используемых в стратегическом управлении компании.

Публикации. По теме исследования опубликовано 10 печатных работ общим объемом 4,2 п.л., в том числе в изданиях, рекомендуемых ВАК для публикаций результатов диссертационных исследований, – 3 работы объемом 2,9 п.л.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы (112 наименований), 5 приложений, содержит 11 таблиц, 31 рисунок, 42 формулы. Общий объем работы составляет 159 страниц.

Структура диссертационной работы обусловлена задачами, поставленными в исследовании, и отражена в ее оглавлении.

Введение.

Глава 1. Математические методы и инструментальные средства в стратегическом управлении сферы массовых услуг.

- 1.1. Стратегическое управление и системы поддержки принятия решений (СППР).
- 1.2. Статистические методы в СППР.
- 1.3. Задачи регрессионного анализа и прогнозирования в эконометрике.
- 1.4. Классические методы анализа влияния внешних событий.
- 1.5. Искусственные нейронные сети как инструментальное средство количественного анализа.

Глава 2. Методологические основы применения математических количественных методов анализа в сфере массовых услуг.

- 2.1. Методологические основы применения нейронных сетей при построении систем поддержки принятия решений.
- 2.2. Стандартная архитектура нейронных сетей в задачах регрессионного анализа и прогнозирования.
- 2.3. Алгоритм оценивания влияния внешних событий и управленческих решений.
- 2.4. Метод и математическая модель оценки влияния внешних событий на основе нейронных сетей модифицированной архитектуры.
- 2.5. Приложение в среде MATLAB для решения задачи количественной оценки влияния внешних событий на основе метода ИНС модифицированной архитектуры.
- 2.6. Алгоритм сценарного моделирования событий «что-если».

Глава 3. Практическое применение метода количественного анализа эффекта внешних событий с использованием нейронных сетей специальной архитектуры в сфере массовых услуг.

- 3.1. Верификация нейронных сетей специальной архитектуры в задачах отраслевой аналитики и оценки экономического эффекта.
- 3.2. Верификация нейронных сетей специальной архитектуры в задачах стратегического анализа в сфере массовых услуг и телекоммуникаций.
- 3.3. Верификация нейронных сетей специальной архитектуры в задачах стратегического анализа в сфере розничной торговли.

3.4. Верификация нейронных сетей специальной архитектуры в задачах маркетингового анализа и оценки маркетинговых решений в сфере торговли.

3.5. Сравнение метода оценки влияния внешних событий на основе нейронных сетей специальной архитектуры и классических методов в сфере массовых услуг.

Заключение.

Список используемой литературы.

Приложения.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Разработан алгоритм оценивания влияния внешних событий и управленческих решений в условиях неполноты или отсутствия информации о величинах и формах таких событий.

Коммерческие организации и государственные ведомства собирают массивы данных, зачастую в виде временных рядов. На данные могут воздействовать различные внешние события, либо принятые решения. Количественный анализ временных рядов позволяет решить следующий вопрос: каков эффект влияния внешнего события на последовательность наблюдений? Например, как количественно оценить влияние новой экономической политики; насколько новый закон изменил интенсивность преступлений и т.д., каков эффект принятого управленческого решения и т.д. Таким образом, задача сводится к оценке воздействия одного или нескольких дискретных событий на значения ряда. В западной литературе подобные события обычно называются «интервенциями» (intervention). В русскоязычной литературе используется термин «влияние внешних событий». Под влиянием внешних событий понимаются резкие изменения характера поведения процесса под воздействием каких-либо (внешних или внутренних) причин. Некоторые внешние события могут быть предсказуемыми – они объявлены предварительно, и участники рынка могут к ним подготовиться, ниже предлагается описать их функцией (2). К таким внешним событиям относят объявления, которые делает компания или государственное учреждение заранее. Од-

ним из примеров подобного события может быть объявление о повышении тарифов на обслуживание в телекоммуникационной организации. На такие события участники рынка могут отреагировать до появления события, и эффект влияния внешнего события будет нарастать постепенно. Другие внешние события – непредсказуемы, например, экономический кризис, когда участники рынка не могли предугадать сценарии развития. Такие события наступают неожиданно и внезапно, они описаны ниже функцией (1).

В данном исследовании влияние внешнего события описывается двумя видами функций: (1) ступенчатая функция и (2) кусочно-линейная функция. Зачастую в литературе исследователями упоминается только теоретическая возможность использования функции (2), однако анализ производится с применением классической ступенчатой функции (1). В диссертационном исследовании развивается эта мысль и к использованию предлагается нетрадиционная кусочно-линейная модель для описания характера влияния внешнего события в формуле (2).

Эти два вида функций можно представить следующим образом:

$$S(t) = \begin{cases} 0, & t < t_0 \\ 1, & t \geq t_0 \end{cases} \quad (1)$$

$$I(t) = \begin{cases} 0, & t < t_0 \\ 1 - a_1 \frac{T-t}{T-t_0+1}, & t_0 \leq t < T \\ 1, & t = T \\ 1 - a_2 \frac{t-T}{t_1-T+1}, & t > T \end{cases} \quad (2)$$

где:

- t_0 – номер наблюдения временного ряда, соответствующий дате начале влияния внешнего события;
- t_1 – номер наблюдения, соответствующий окончанию влияния внешнего события;
- a_1, a_2 и T – параметры, которые оцениваются при построении модели.

Предлагается следующая интерпретация параметров функции T, a_1 и a_2 :

- параметр T – момент времени, соответствующий пику максимального воздействия события. Значение параметра T выбирается среди порядковых номеров наблюдений от t_0 до t_1 .
- параметры a_1 и a_2 определяют, как быстро функция возрастает и убывает, соответственно.

2. Создана математическая модель оценки влияния внешних событий и управленческих решений, реализуемая с использованием аппарата искусственных нейронных сетей специальной архитектуры.

В диссертационном исследовании разрабатывается новый метод количественной оценки влияния внешних событий и управленческих решений, построенного на специальной архитектуре нейронной сети. В работе предложено развитие метода для случаев одного внешнего события, для нескольких внешних событий и для случая, когда есть вспомогательные данные о воздействиях.

Специальная архитектура нейронной сети для задачи оценки влияния внешних событий. Использование стандартной нейронной сети при моделировании временных рядов не является нововведением. Однако стандартная архитектура нейронной сети не подходит для решения задачи количественной оценки влияния внешних событий. В работе архитектура нейронной сети модифицируется так, чтобы из неё можно было извлечь информацию о влиянии произошедших событий для количественной оценки эффекта управленческих решений или влияния внешних событий.

На вход стандартной нейронной сети подаются $N + 1$ переменная (включая смещение как вес $w_{0j} * 1$), на внутреннем слое используется $J + 1$ нейрон. Предлагаются следующие модификации архитектуры нейронной сети. На вход дополнительно подается m нейронов, где m – число внешних событий, эффект которых желательно измерить. Разделяются входные переменные и переменные, описывающие влияние внешнего события.

К нейронам внутреннего слоя добавляются нейроны, которые будут называться нейронами, отвечающими за влияние внешних событий. В предлагаемой архитектуре из сети исключаются:

- взаимодействия между внешними входными переменными и нейронами на внутреннем слое, отвечающими за влияние внешних событий;
- взаимодействия между внешними независимыми переменными, отвечающими за влияние внешних событий, и остальными нейронами на внутреннем слое.

Как и у стандартной нейронной сети, для нейронов на внутреннем слое используется логистическая функция активации. На выходном слое функция активации – линейная.

В итоге получается нейронная сеть, топология которой представлена на рис. 1. Следует обратить внимание, что отсутствующие связи на рисунке – это связи, которые присутствуют в классической нейронной сети, но исключены в предлагаемой архитектуре. При этом x_1, x_2, \dots, x_n – входные переменные, $I^{(1)}, I^{(2)}, \dots, I^{(m)}$ – переменные, описывающие влияние внешнего события.

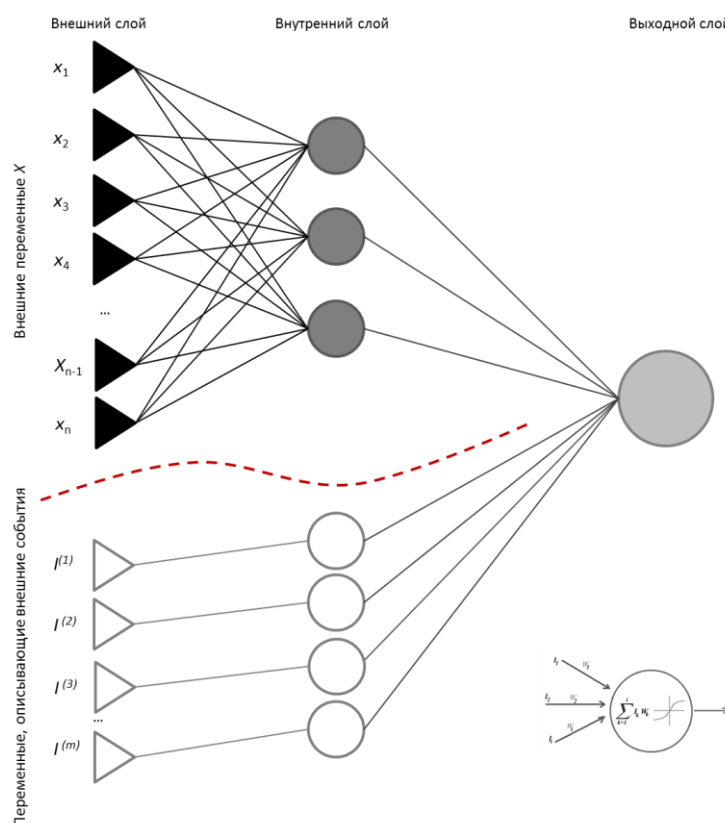


Рисунок 1. Архитектура модифицированной нейронной сети

Формализация задачи и математической модели. Задача состоит в том,

чтобы на основе имеющихся ретроспективных данных проанализировать ключевые показатели эффективности бизнеса, принятые управленческие решения. Для решения используется многослойная нейронная сеть. Многослойная сеть может приближать произвольную непрерывную функцию при соответствующем выборе количества нейронов. Как и ряды многочленов, многослойные сети являются универсальным инструментом аппроксимации функций.

Если временной ряд содержит n наблюдений $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, оценивается m внешних событий и используется p нейронов на входном слое, к которым добавляются t нейронов, отвечающих за влияние внешних событий, то имеется $n-p$ обучающих примеров. Тогда k -ым входом нейронной сети будет вектор $\{1, x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_{k+p-1}, I_{k+p}^{(1)}, \dots, I_{k+p}^{(m)}\}$, в котором $x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_{k+p-1}$ – значения временного ряда, а $I_{k+p}^{(1)}, \dots, I_{k+p}^{(m)}$ – значения переменных, отвечающих за внешние события. При этом k -ым выходным значением будет значение временного ряда x_{k+p} .

Нейронная сеть модифицированной архитектуры для оценки влияния внешнего события предлагается в формуле (4):

$$z_k = f^o \left(\sum_{j=1}^{J+1+m} v_j f^h \left(\sum_{i=1}^p w_{ji} x_{k+i} + \sum_{i=p+1}^{p+m} w_{ji} I_{k+p}^{(i)} \right) \right) \quad (4)$$

где:

x_{k+i} – k -ое входное значение (наблюдения ряда), $i = 1 \div p$

$I_{k+p}^{(i)}$ – k -ое входное значение i -го внешнего события, $i = p + 1 \div p + m$

w_{ji} – веса, соединяющие входной элемент i со скрытым нейроном j

f^h – логистическая функция активации скрытого слоя, определяется по формуле:

$$f^h(s) = \frac{1}{1+e^{-s}}$$

v_j – веса, соединяющие скрытый нейрон j с выходным нейроном

f^o – линейная функция активации выходного слоя нейронной сети

z_k – k -ое выходное значение нейронной сети

При этом веса связей между входами, отвечающими за влияние внешних событий и нейронами внутреннего слоя, и связи между нейронами внутреннего

слоя, отвечающими за влияние внешних событий и всеми остальными внешними переменными полагаются равными нулю:

$$\begin{aligned} w_{ji} &= 0, & i &= (p + 1) \div (p + m), & j &= 1 \div (J + 1) \\ w_{ji} &= 0, & i &= 1 \div p, & j &= (p + 1) \div (p + m) \end{aligned} \quad (5)$$

Для определения выходного значения z_k решается задача аппроксимации посредством минимизации критерия качества. В работе используется средне-квадратичное отклонение ошибки на множестве обучающих примеров:

$$\left\{ \begin{aligned} z_k &= f^o \left(\sum_{j=1}^{J+1+m} v_j f^h \left(\sum_{i=1}^p w_{ji} x_{k+i} + \sum_{i=p+1}^{p+m} w_{ji} I_{k+p}^{(i)} \right) \right) \\ E &= \sum_{k=p}^n (x_k - z_k)^2 \rightarrow \min \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Существующие на сегодня программные средства не позволяют обучать нейронные сети такой архитектуры напрямую. В работе предлагается альтернативный обходной путь. В начале каждой итерации при обучении нейронной сети предварительно обнуляются связи между переменными и нейронами, отвечающими за влияние внешних событий, и продолжается обучение. Подобная модификация не предусмотрена в стандартных конфигурациях нейронных сетей и впервые предлагается для решения задачи оценки ВВС.

В связи с тем, что в используемой модели применяется логистическая функция активации нейрона, для оценки влияния k -го внешнего события необходимо произвести преобразования весов связей между входным слоем и нейронами внутреннего слоя, а также между нейронами внутреннего и выходного слоя по формуле (7):

$$f(v_j, w_{ji}) = v_j * \left(\frac{1}{1 + e^{-w_{ji} + b_i}} \right) \quad (7)$$

где:

k – номер наблюдения внешнего события, которое необходимо оценить, $k = 1 \div m$

m – количество оцениваемых внешних событий

v_j – вес связи между нейроном внутреннего слоя, отвечающим за k -ое внешнее событие и нейроном выходного слоя

w_{ji} – вес связи между внешним слоем и нейронами внутреннего слоя, отвечающими за k -ое внешнее событие

b_i – смещение нейронов внутреннего слоя

3. Разработано приложение в среде MATLAB для автоматизированного построения ИНС-модели, позволяющее получать количественные ретроспективные оценки влияния внешних событий, максимальную величину внешнего события и лага в проявлении внешнего события.

На основе предложенного и разработанного комплекса моделей и методов было разработано программное приложение в среде MATLAB, позволяющее решать задачу количественной оценки влияния внешних событий. Приложение обладает свойством переносимости в другие среды (например, Octave или R).

Приложение, которое было разработано в рамках диссертационного исследования, использует возможности построения графической оболочки в среде MATLAB (GUI). Используя приложение, можно получить результирующий множитель для оценки влияния внешних событий, который вычисляется согласно формуле (7).

Предложенный инструментарий также позволяет получить количественные оценки влияния внешних событий и управленческих решений. Среди таких оценок на практике особенно полезны величина максимального эффекта влияния внешних событий и задержка реакции на внешнее событие.

Предложенная функция $I(t)$ в п.1 включает в себя параметр T , который оценивается в ходе построения кусочно-линейной функции, предложенной в формуле (2). Оценку задержки реакции на влияние внешнего события получаем, используя следующую формулу: $lag = T - t_0$, где T – оцениваемый параметр момента максимального воздействия внешнего события, а t_0 – начало внешнего события.

Построенная нейронная сеть (см. п.2) позволяет получить количественную оценку влияния внешнего события, используя функцию $f(v_j, w_{ji})$. Результирующий множитель необходимо применить к функции $I(t)$. Таким образом, получается новый ряд данных по формуле (8):

$$eff(t) = I(t) * f(v_j, w_{ji}) \quad (8)$$

Используя формулу (8), можно оценить величину максимального эффекта влияния внешнего события (параметр T) как $eff(T)$. Предложенный метод позволяет оценивать задержку влияния внешнего события и измерять величину максимального эффекта влияния внешнего события в любой ситуации.

4. Создан алгоритм сценарного моделирования событий «что-если», позволяющий, в частности, рассмотреть гипотетическую ситуацию отсутствия влияния внешних событий, и на основе разработанного метода оценить совокупный эффект влияния внешних событий.

Метод позволяет рассмотреть гипотетическую ситуацию, в которой исключено влияние внешнего события. Таким образом, можно воспроизвести сценарный анализ «что если» и оценить, как развивалась бы ситуация, в случае отсутствия влияния внешнего события. Для этого вернемся к исходному временному ряду данных $X(t)$, который уже включает в себя эффект влияния внешнего события. Гипотетический сценарий развития событий в случае отсутствия влияния внешнего события $Z(t)$ определяется по формуле (9):

$$Z(t) = X(t) - eff(t) \quad (9)$$

Таким образом, из первоначального ряда данных $X(t)$ вычитается эффект влияния внешнего события на основе полученной оценки по методу нейронных сетей, определенный в формуле (8).

При этом, можно оценить совокупный эффект влияния события по формуле (10):

$$Total_effect = \sum eff(t) \quad (10)$$

5. Исследованы возможности верификации предложенной модели и её калибровки на реальных данных отраслей и организаций российской экономики.

Разработанный комплекс моделей и методов был верифицирован на статистических данных российских коммерческих организаций, а также отраслей экономики. В диссертации апробация производится на данных розничных организаций и телекоммуникационной организации, а также в отраслях экономики. Рассмотрим только первые два примера из исследования.

Верификация на реальных данных телекоммуникационной организации. Применение модели рассматривается на данных телекоммуникационной компании Yota – игрока на высокотехнологичном рынке сетей мобильной передачи данных. Изучается динамика выручки компании в Москве с 2009 по 2012 год ежемесячно.

Во время анализируемого периода компания приняла два управленческих решения, которые повлияли на финансовые результаты организации. Во-первых, в марте 2011 года были увеличены тарифы на абонентское обслуживание на 55% (с 900 р. до 1400 р.). Во-вторых, в мае 2012 года произошла смена технологии стандарта связи с WiMAX на LTE.

Были построены нейронные сети специальной архитектуры, предложенные в п.2. На рис. 2 представлена динамика выручки в миллионах рублей: сплошная черная линия – исходный ряд данных, серая линия – ряд данных, в котором исключены влияния внешних событий. При этом вертикальные пунктирные линии отображают эффект влияния внешних событий в каждый момент времени t .

В результате построения нейронной сети были получены следующие оценки:

- увеличение тарифов на 55% уменьшило выручку компании на **27 млн руб.** за один календарный месяц;
- смена технологии с WiMAX на LTE уменьшила выручку компании на **40 млн руб.**;
- совокупный объём потерь выручки за весь период составил **405 млн руб.**;



Рисунок 2. Динамика выручки Yota и показатели, смоделированные на основе нейросетевой модели

Верификация на данных отраслей экономики. В работе проводится исследование реакции потребителей различных рынков на экономический кризис 2008 года с использованием предложенного метода. Исследуется, как долго кризис ощущался рынками, каков накопленный эффект кризиса и максимальное воздействие кризиса на рынок.

Среди рассматриваемых отраслей экономики изучаются рынок розничной торговли товарами широкого потребления, рынок пива, рынок подержанных автомобилей и рынок недвижимости.

На рис. 3 представлены исходные ряды данных рынка (чёрная линия) и смоделированные показатели (серая линия) на основе метода ИНС, при этом вертикальные линии иллюстрируют влияние внешнего события:

1. Рынок подержанных автомобилей в Санкт-Петербурге и Москве: регистрации (шт.) (см. рис. 3а) и цены (тыс. руб.) (см. рис. 3б)
2. Рынок пива России (в млн л.) (см. рис. 3в)
3. Объём продаж розничной организации (в млн руб.) (см. рис 3г)

4. Рынок цен на вторичную недвижимость Санкт-Петербурга (тыс руб. за кв. м.) (см. рис 3д)

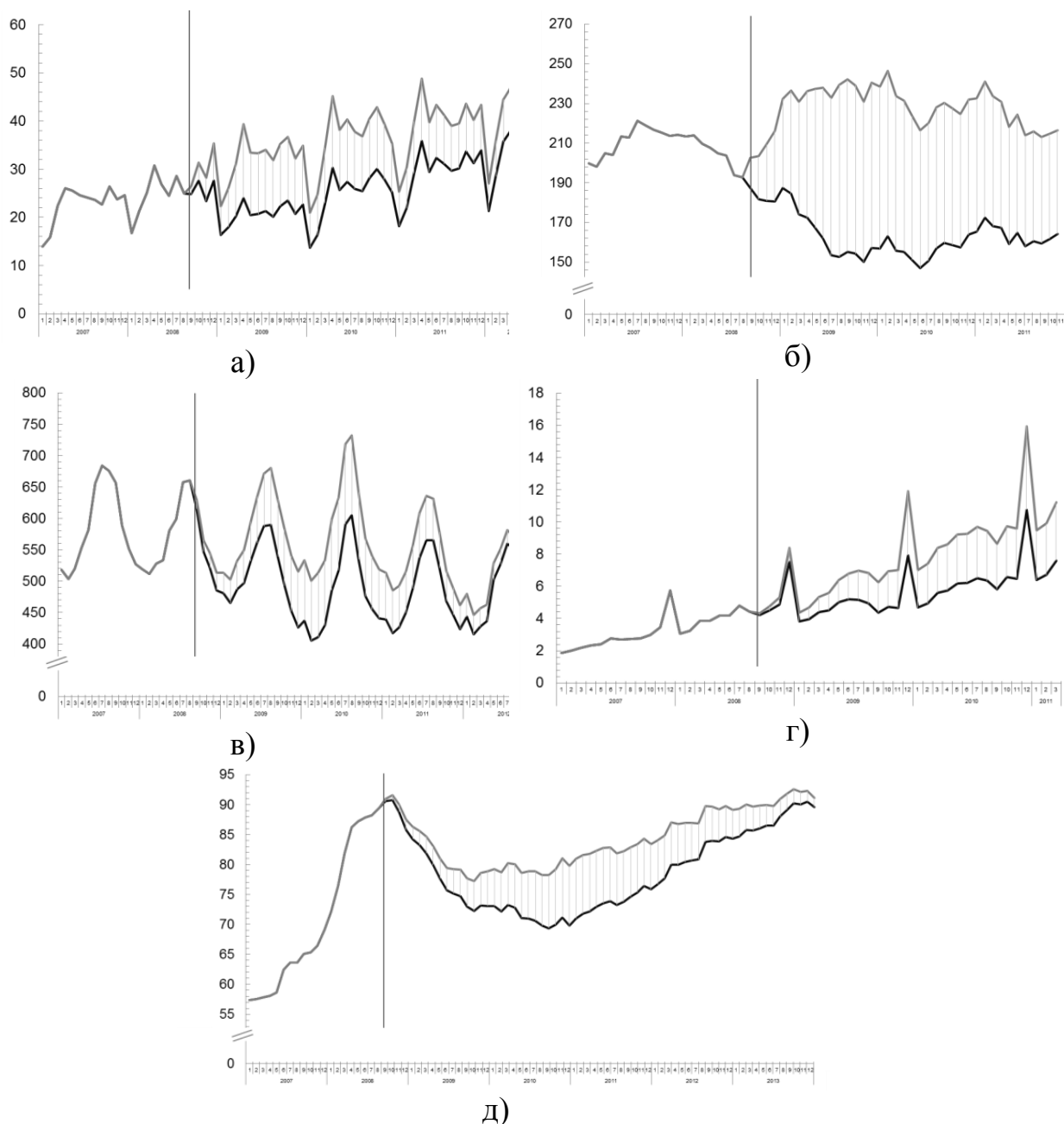


Рисунок 3. Сравнение результатов моделирования и реальных данных динамики отраслей экономики на основе нейросетевой модели
 а – рынок поддержанных автомобилей в Санкт-Петербурге и Москве (перерегистрации, шт.),
 б – рынок поддержанных автомобилей в Санкт-Петербурге и Москве (цены, тыс руб.),
 в – рынок российского пива, млн л.,
 г – рынок розничной торговли, млрд руб.,
 д – вторичный рынок недвижимости Санкт-Петербурга, тыс руб.

В результате применения модели, предложенной в формуле (6), получены следующие результаты:

- Проанализирована задержка реакции рынков на кризис:
 - 1) Российский рынок пива достаточно медленно реагировал на кризис – максимальное воздействие наблюдалось спустя полтора года.
 - 2) На рынке подержанных автомобилей уже спустя полгода кризис проявил себя в наибольшей степени, а затем рост рынка возобновился.
 - 3) На рынке розничной торговли наибольшее воздействие кризис оказал только спустя 14 месяцев;
 - 4) Рынок недвижимости позже всех отреагировал на кризис. Максимальное воздействие кризиса наблюдается спустя 2,2 года.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о характере реакции отрасли на глобальные экономические изменения.

- Получена оценка доли потерь показателей рынка в «разгар» кризиса – момент максимального воздействия:
 - 1) На рынке пива потери составили 19,9%;
 - 2) Количество сделок на автомобильном рынке уменьшилось на 39%;
 - 3) Объём продаж в розничной торговле сократился на 33,5%;
 - 4) На рынке недвижимости цены упали на 12,5%;

Результаты позволяют оценить, какие из рынков наиболее чувствительны к экономическому кризису.

- Оценен общий объём потерь рынка вследствие кризиса:
 - 1) Рынок пива – 11% от общего объёма;
 - 2) Рынок розничной торговли – 28,1%;

Совокупный объём потерь позволяет изучить долгосрочное влияние кризиса на рынки.

Для всех расчётов, выполненных в диссертации, применены электронные таблицы MS Excel, СУБД Oracle и пакеты прикладных программ MATLAB и R.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации предложены методы и разработаны математические алгоритмы для количественной оценки эффекта влияния внешних событий и принимаемых управленческих решений на основе искусственных нейронных сетей.

В научный оборот вводится новая архитектура нейронных сетей. Предложенный метод в этой работе может быть применён для исследования широкого круга задач об измерении влияния внешних событий.

Методы и алгоритмы доведены до программной реализации, верифицированы на реальных статистических данных коммерческих организаций и отраслей экономики и могут быть рекомендованы для количественной оценки влияния внешних событий и управленческих решений в СППР как для отдельной фирмы/организации, так и на уровне отраслей экономики.

В результате проведенного диссертационного исследования:

1. Разработан алгоритм оценивания влияния внешних событий и управленческих решений в условиях неполноты или отсутствия информации о величинах и формах таких событий.

2. Создана математическая модель оценки влияния внешних событий и управленческих решений, реализуемая с использованием аппарата искусственных нейронных сетей специальной архитектуры.

3. Разработано приложение в среде MATLAB для автоматизированного построения ИНС-модели, позволяющее получать количественные ретроспективные оценки влияния внешних событий, максимальную величину внешнего события и лага в проявлении внешнего события.

4. Создан алгоритм сценарного моделирования событий «что-если», позволяющий на основе разработанного метода оценить совокупный эффект влияния внешнего события.

5. Исследованы возможности верификации предложенной модели и её калибровки на реальных данных отраслей и организаций российской экономики.

СПИСОК РАБОТ, В КОТОРЫХ ОПУБЛИКОВАНЫ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Валиотти Н.А., Аббакумов В.Л. Количественное оценивание последствий управленческих решений на основе нейросетевых моделей // Журнал «Прикладная информатика». Синергия-Пресс, Москва. – 2013 – С. 6-13.
2. Валиотти Н.А. Количественное описание реакции рынков на экономический кризис 2008 года на основе нейросетевой модели // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки № 2(192) 2014. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург. – 2014 – С. 191-199.
3. Валиотти Н.А. Нейросетевая модель для дифференцированной оценки влияния одновременных внешних событий в сфере розничной торговли // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 10: Прикладная математика, процессы управления. 2014. Вып. 2. С. 111-119.

В других изданиях:

4. Валиотти Н. А. Экономико-математическое моделирование цен на вторичном рынке автомобилей. // Материалы весенней конференции молодых учёных-экономистов. / СПб.: Издательский центр экономического факультета СПбГУ, 2011. с. 164-165
5. Валиотти Н.А. Использование VI-технологий для моделирования цен на вторичном рынке автомобилей // Современные проблемы прикладной: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, 25-27 мая 2011 г. / под ред. И. Брусаковой, И. Андреевского. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2011. с. 78-81.
6. Валиотти Н.А. Динамика ценовых сегментов на вторичном рынке автомобилей, построенных с использованием экономико-математических моделей данных. // Предпринимательство и реформы в России: материалы Семнадцатой международной конференции молодых ученых-экономистов 24-25 ноября 2011 г. ОЦЭиМ Санкт-Петербург 2011. с. 258

7. Валиотти Н.А. Динамика ценовых сегментов на вторичном рынке автомобилей, построенных с использованием экономико-математических моделей данных. Инвестиционный климат: влияние на экономику: материалы весенней конференции молодых учёных-экономистов 27 апреля 2012 г. СПб.: ОЦЭиМ, 2012. 146 с.
8. Валиотти Н.А. Оценка эффекта интервенций на вторичном рынке автомобилей в сентябре 2008 – январе 2009 годов. Предпринимательство и реформы в России: материалы восемнадцатой международной конференции молодых ученых-экономистов. 22-23 ноября 2012г СПб.: ОЦЭиМ, 2012. 346 с.
9. Валиотти Н.А. Сравнение двух методов экономико-математической оценки управленческих решений. Международная школа-семинар «Бизнес-информатика: состояние, проблемы и перспективы». 21 сентября 2013г СПб.: ОЦЭиМ, 2013.
10. Валиотти Н.А. Количественное оценивание последствий экономического кризиса 2008го года в отраслях экономики. Весенняя конференция молодых ученых-экономистов “Устойчивое развитие: общество и экономика” 23 апреля 2014 г. СПб: ОЦЭиМ, 2014. 234-235 с.